

---

## 超低周波音が人体に及ぼす作用についての研究

Studies of effects on man by infrasound and low frequency noise

代表研究者	山梨大学工学部助教授 Assof. Prof., Faculty of Engineering, Yamanashi Univ. Shinji YAMADA	山田 伸 志
協同研究者	福島工業高等専門学校講師 Lecturer, Fukushima Technical College Toshio WATANABE	渡 辺 敏 夫
	東京工業高等専門学校助教授 Lecturer, Tokyo Technical College Toshifumi KOSAKA	小 坂 敏 文
	兵庫総合高等職業訓練校教諭 Vocation Training Conductor, Hyogo Vocational Training Center Norio OSHIMA	大 島 典 雄

The aim of this research is to clear the mechanism of occurrence of low frequency noise problems. As the two years' research, the following results have been obtained.

(1) According to the measurement of thresholds of sensation of 17 profoundly deaf persons (the hearing loss is over 90 dB), it is found that the sensory organs of infrasound and low frequency noise of ordinary persons are mainly cochleae. If the sound pressure level of infrasound is very high, it can be detected by the vibration feeling of a breast.

(2) Low frequency noise problems near highway bridges were investigated. Low frequency noise is mainly radiated by vertical vibration of the spans of a bridge, when a heavy truck passes an expansion joint. Maximum of over all levels is 95~105 dB just under the bridge of Nishi-Meihan highway. Inquiries of 22 persons near this bridges shows the following. (i) According to approaching to the bridge, rattling noises and the sound of "Don" like a far cannon increase. (ii) Physical phenomena like "rattling noise" and the sound of "Don" have large correlation to psychological aspects like "fear, disturbance of thinking, request of removal". And these psychological aspect has large correlation to some symptoms of "insomnia, headache, symptoms like cold".

(3) Psychologically low frequency noise causes pressure feeling on man rather than noisy feeling. It causes stronger feelings on complainants of low frequency noise rather than on university students.

(4) Physiologically respiration pulses and heart rates of university students did not change clearly by low frequency noise. But these of some complainants increased clearly.

These show that low frequency noise affects some people.

---

### 研究目的

超低周波音は耳に聞こえないにもかかわらず、被害がでるといわれている。しかしその被害発生メカニズムは解明されていない。本研究におい

ては、(1) 超低周波音を人間が検知する部位(感覚受容器)の解明、(2) 高速道路橋周辺における超低周波音の発生状況と被害状況の調査、(3) 超低周波音が人体に及ぼす心理的影響、(4) 生理的

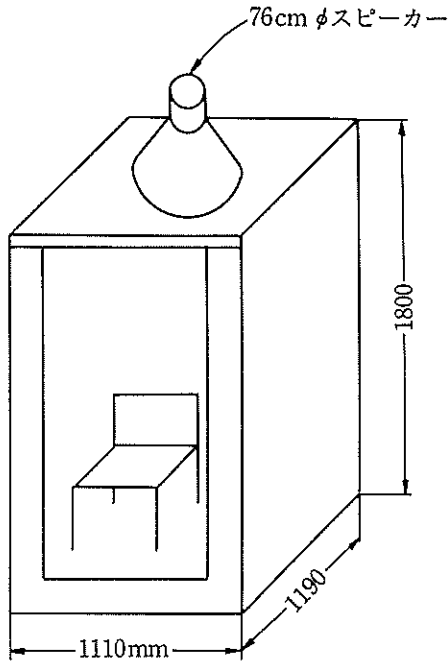


図 1. 低周波ボックス

影響について研究を行なうことにより、被害発生  
のメカニズム、人体への影響について解明する。

#### 研究方法および研究成果

##### 1. 超低周波音の感覚受容器の解明

超低周波音もしくは、低周波音が体のどの部分  
によって検知されるかを調べるために、聴力損失  
が 90 dB 以上で、ほとんど耳の聞こえない“ろ  
う”の人 17 名を被験者として用い、最小感覚値  
を測定した。図 1 に示す低周波ボックス内に、直  
径 76 cm のラウドスピーカーによって、8~  
1000 Hz の音を発生させる。被験者が、体のどの  
部分でも、何かを少しでも感じたらスイッチを押  
して合図し、その時の音圧レベルを最小感覚値と  
した。ろう者 17 名中 13 名の最小感覚値および  
通常者の最小可聴値を図 2 に示す。ろう者の最小  
感覚値は、通常者の最小可聴値と比較して、30~  
40 dB も高く、感覚が悪い。ろう者と通常者の主  
な差異は、内耳内蝸牛管の聴覚神経から大脳に至  
る聴覚神経路に、障害があるかないかである。そ  
の障害によって 30~40 dB の差が発生することか  
ら、通常者の場合、蝸牛管内の聴覚神経によっ

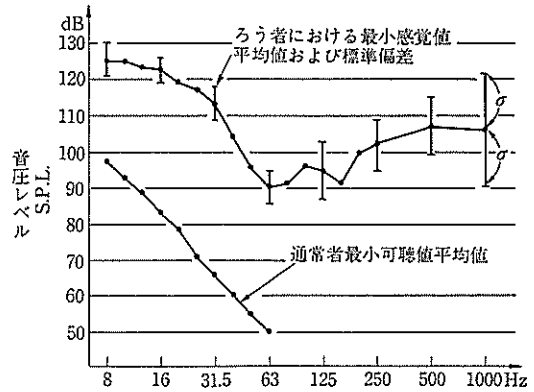


図 2. ろう者における低周波音の最小感覚値平均  
値、標準偏差および通常者最小可聴値平均値

表 1. ろう者における体感の部所

周波数 (Hz)	主に感じた部分
8	耳部, 胸部, でん部
10	腹部, 胸部
12.5	胸部
16	胸部
20	胸部
25	胸部
31.5	胸部
40	胸部
50	胸部
63	胸部
80	胸部
100	胸部
125	胸部
160	胸部
200	足部
250	耳部
500	耳部
1000	耳部

て、低周波音は検知されていると考えられる。

ろう者における低周波音の主な体感部所を表 1  
に示す。250 Hz 以上は主に耳の部分によって検  
知されているが、160 Hz 以下の音は、主に胸部  
の振動感によって検知されている。すなわち、レ  
ベルが高ければ体の振動感によって低周波音は検  
知されうる。しかし通常の公害のレベルにおいて  
は、通常者の場合、体によって直接知覚される可  
能性は非常に少ない。

##### 2. 高速道路橋より発生する低周波音

高速道路橋を大型トラックが走行する場合に、

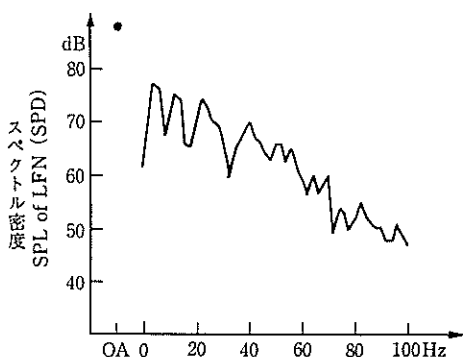


図 3. 高速道路橋 (香芝) より 5m 離れた点における低周波音 (スペクトル密度 Hz)

表 2. 香芝高架橋付近被害・症状訴え率

項 目	訴え率 (0~1)
戸・障子のガタツキがある	0.86
ドドンという音がする	0.83
うるさいと感じる	0.96
びっくりすることがある	0.75
いらいらする	0.92
目がさめたあと寝られぬ	0.97
よそへ移りたいと思う	0.86
頭部に圧迫感がある	0.71
頭 痛	0.94
肩こり	0.75
体がだるい	0.72
風邪のような症状	0.89
ねずみがへった	0.91

ジョイントを衝撃し、橋全体を振動させ、低周波音を放射する。橋梁直下においては 100 dB 程度の低周波音が発生し、付近の民家の戸障子をガタガタと鳴らし、住民に不安を与えている。西名阪自動車道香芝地区、京葉道路谷津遊園地区、中央自動車道相模湖駅付近などの調査を行なった。図 3 に香芝地区における低周波音の周波数分析結果を示すが、4~5 Hz に主成分をもつ低周波音である。香芝地区においては、戸障子のガタツキと、太鼓を打ったようなドドンという腹にひびく音が民家の中で聞かれる。この地域の苦情者の訴え率を表 2 に示す。またこの地域の住民 22 人にアンケート調査を行ない相関係数を求め表 3 に示す。これらの表から言えることを簡条書にしてしるす。

表 3. 高速道路橋 (香芝) 付近アンケート調査による相関係数

項目 A	項目 B	相関係数 r	
高架橋からの距離	戸障子のガタツキ	-0.75	
	ドスの音	-0.87	
	頭部圧迫感	-0.70	
	考え事邪魔される	-0.86	
	オーバーオール値	-0.81	
オーバーオール値の最大 10 個の平均値	ドスの音	0.86	
	畳のゆれ	0.75	
	頭部圧迫感	0.81	
	体のゆれを感じる	0.81	
	吐き気	0.79	
戸障子のガタツキ	ドスの音	0.84	
	びっくりする	0.70	
	こわい	0.75	
	不 眠	0.75	
	よそへ移りたい	0.81	
	頭痛、頭重	0.80	
	考え事邪魔される	0.84	
	風邪のような症状	0.74	
	ドスの音 (ズン)	頭部圧迫感	0.86
		体のゆれ	0.72
よそへ移りたい		0.72	
頭痛、頭重		0.71	
考え事邪魔される		0.82	
遠い雷のようなゴロゴロした音	腹部圧迫感	0.85	
	体のゆれ	0.72	
畳のゆれ	吐き気	0.82	
うるさいと思う	寝ざめが悪い	0.88	
	頭痛、頭重	0.77	
	考え事邪魔される	0.79	
夫婦げんか多い	手足のしびれ	0.70	
こわいと思う	不 眠	0.70	
	体だるい	0.73	
不眠症である	体のゆれ	0.79	
	体だるい	0.71	
寝おきが悪い	体だるい	0.92	
頭部圧迫感	体のゆれ	0.70	
腹部圧迫感	耳がきこえにくい	0.77	
よそへ移りたい	頭痛、頭重	0.75	
	考え事邪魔される	0.71	
考え事邪魔される	頭痛、頭重	0.76	
	風邪のような症状	0.77	
腹痛になる	腸の調子が悪い	0.83	
心臓の具合よくな	耳なりがする	0.70	
	夫婦げんか多い	0.70	
	息苦しい	0.73	
耳なりがする	風邪のような症状	0.76	

(1) 距離が小さくなり高架橋に近づくに従って戸障子のガタツキ、ドドンという音がひどくなる関係が強く、低周波音のレベルも大きくなる。

(2) 戸障子のガタツキ、ドドンの音と“こわい、よそへ移りたい、考え事が邪魔される”など住民の精神的負担との関係が深い。また、“不眠症、頭痛、頭重、風邪のような症状”など不定愁訴的症状との因果関係が深い。

(3) 橋の近くではドドンの音がひどく、ねずみがいなくなった家が多い。逆に橋から離れた周辺地区では、ねずみが増えた所がある。

(4) 身体症状相互の相関は、あまり高くない。低周波音によって、独得の身体症状が常に出るわけではなく、個人にとって弱い部分に症状が出るのであろう。ストレスに起因すると思われる症状が多い。

以上をまとめると、高架橋から低周波音が発生し、戸障子をガタつかせ、ドドンの音を発生し、住民に不安、いらいらなど精神的負担を与え、その負担によって様々の症状が発生すると考えられる。

### 3. 低周波音の心理的影響

低周波音の影響としては、“心臓がドキドキする、頭が痛い”などの生理的影響とともに、“圧迫感、わずらわしい、体が包まれる感じ”などの心理的影響もある。ここでは、大学生および低周波音に対する苦情を被験者として用い、実験室内で心理的影響を測定した。

被験者は低周波ボックスに腰をかける。はじめに被験者の最小可聴値を上昇および下降法によって測定する。その最小可聴値を基準にして -5 dB, +1 dB, +5 dB, +10 dB, +15 dB の低周波音に1分間暴露する。その間に被験者は、各項目について、(感じない、少し感じる、感じる、強く感じる)の4段階の回答を行なう。また低周波音によって発生した木の窓のガタつき音を録音しておき小さいスピーカより、28, 32, 37, 42 dB (A) で発生させ、同様に各項目について1分間で4段階の回答をさせた。

図4には、16 Hz での学生についての実験結果を平均したものである。最小可聴値より 5 dB 低

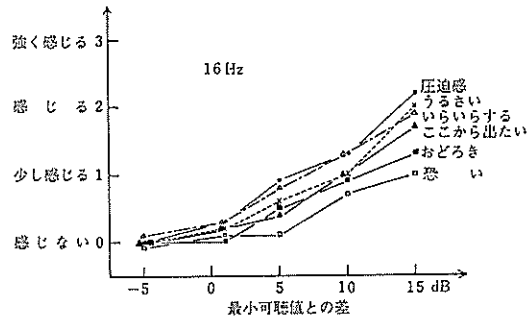


図4. 低周波音によって発生する感覚 (学生 26 名の平均)

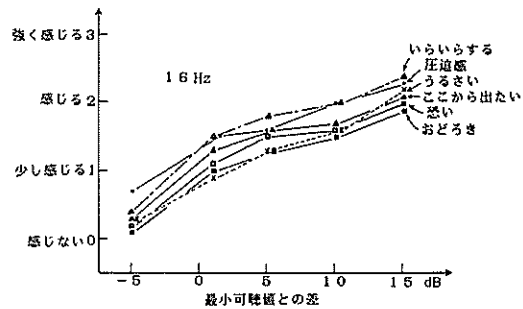


図5. 低周波音によって発生する感覚 (苦情者 12 名の平均)

い値では、何も感じていない。最小可聴値より 1 dB 高いレベルではほんのわずかの心理的变化があり、レベルの上昇とともに徐々に心理反応が強くなっている。心理的な反応としては種々のものがあるが、“圧迫感、いらいらする”という感覚が主なものであり、“うるさい”という感覚よりも強く出ている。

図6には、窓ガラスのガタつき音に対する学生の心理反応を示すが“うるさい”という感覚が主であり、“圧迫感”は弱くなっている。このように低周波音によっては“圧迫感”が強く、高い周波数では“うるさい”という感覚が主になる。

図5は低周波音に対して苦情をいっている人12名の結果である。“圧迫感、いらいらする”という感覚が低周波音側で強い点は学生と同じである。しかし 5 dB 最小可聴値より低い低周波音のレベルで心理反応が発生している。低周波音苦情者には、低周波ボックスに入っただけで圧迫感を

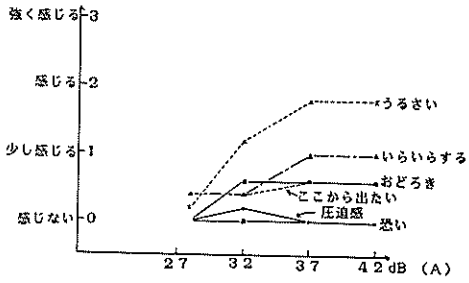


図 6. ガラス窓のガタつき音によって発生する感覚 (学生 26 名の平均)

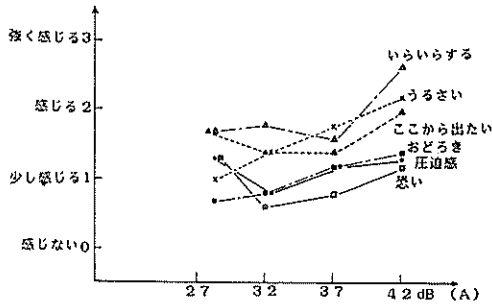


図 7. ガラス窓のガタつき音によって発生する感覚 (苦情者 12 名の平均)

感じてしまう人、あるいは最小可聴値の値が不明確な人もいます。あるいは、この実験の前に生理影響の実験をしていることが多く、低周波音を長く聞いていて、その感覚が残っている可能性もある。原因はともあれ、低周波音苦情者の場合は、閾値にごく近い値で心理反応が出ている。

図 7 は窓ガラスのガタつきに対する低周波音苦情者の反応であるが、ごく小さな音でも反応がすぐに現れ、低周波音のみではなく、通常の可聴音に対しても心理的に影響を受けやすくなっている。図 8 には、学生において 8, 16, 31.5, 63, 125 Hz に対する心理反応を示すが、やはり圧迫感が主なものであり、125 Hz になると、うるさいという感覚が強くなっている。図 9 は低周波音苦情者のものであるが、“圧迫感、いらいらする”が主な感覚であり、全体に低いレベルにおいて反応が出ている。

(1) 低周波音によって発生する主な感覚は“圧迫感、いらいらする”などの感覚であり、窓ガラスのガタつき音によっては、“うるさい”が

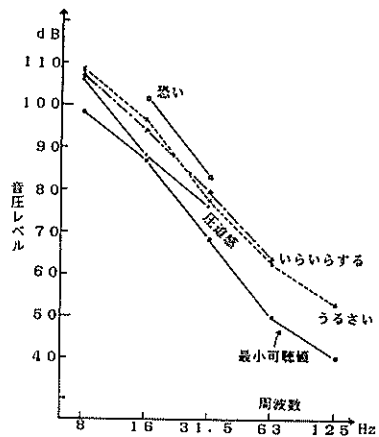


図 8. 低周波音によって“少し感じる”感覚 (学生 26 名の平均)

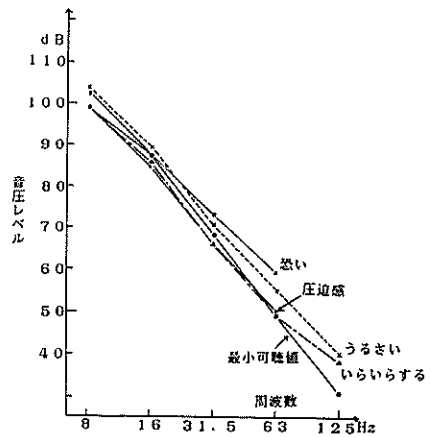


図 9. 低周波音によって“少し感じる”感覚 (被験者: 低周波音被害者 12 名の平均)

主な感覚である。

(2) 学生と比較して、低周波音苦情者は、最小可聴値にごく近いレベルで、強い心理反応が現れる。

#### 4. 低周波音の生理的影響

低周波音の被害者にあうと“心臓がドキドキする、頭の芯が痛くなる、胃の具合が悪くなる”などの身体症状が訴えられる。これらの生理的影響について実験を行なった。

低周波音による生理的影響としては、短期的影響と長期的影響とが考えられる。長期的影響については、実験室で行なうことはむずかしいので、

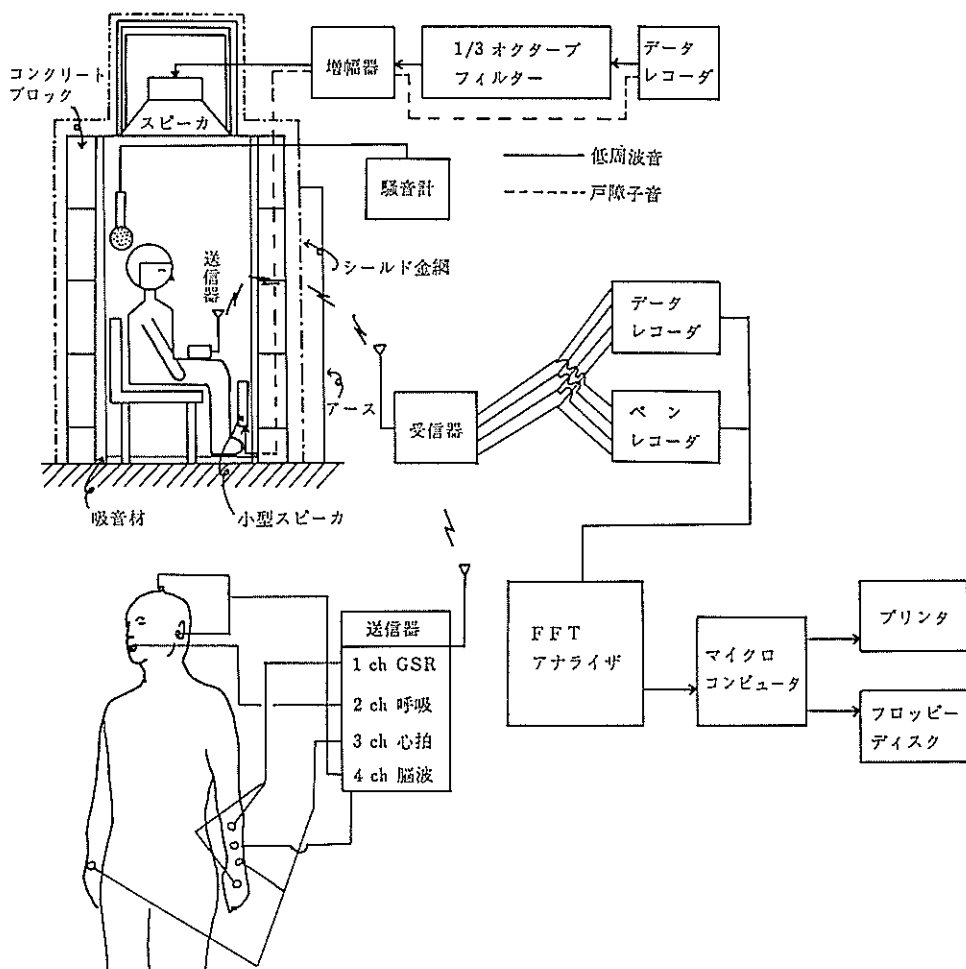


図 10. 生理的影響の測定方法

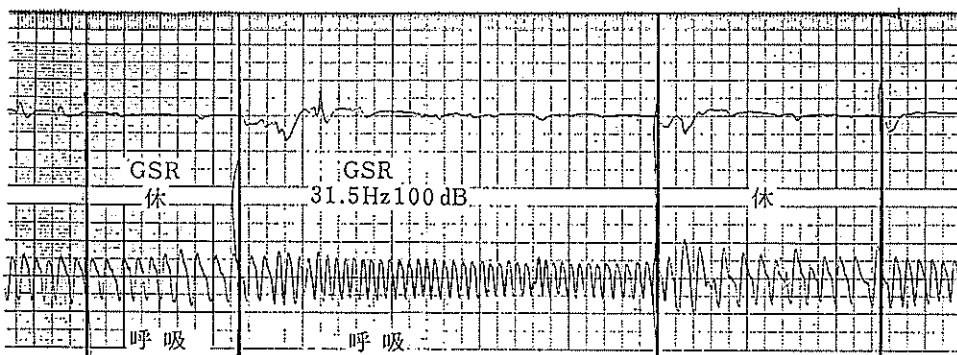


図 11. 低周波音による被害者 N 氏の皮膚電位および呼吸波形

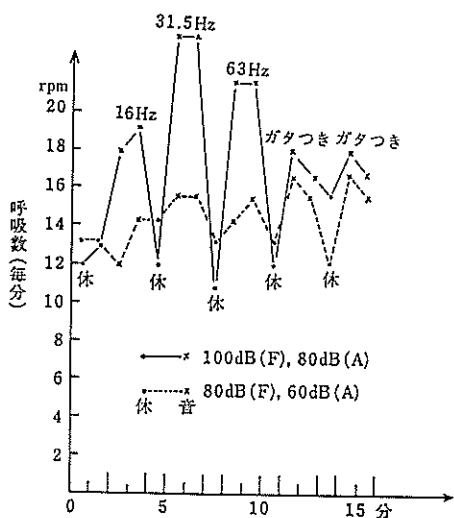


図 12. 低周波音被害者 N 氏 (男) の呼吸数変化

ねずみを用いて実験を行なった。人間の場合は、被害地域の現場調査によるのがいちばん有効な方法である。

短期的影響については、自律神経に関与するものが、多いと考えられるので、皮膚電位変化 (GSR)、呼吸数、脈拍数、脳波について測定を行なった。実験装置を図 10 に示すが、各種電極を腕および頭部に装着し、低周波ボックス内に腰掛ける。被験者の負担を避けるため、検出信号は無線によって外部の受信機に送られる。受信された信号は、データレコーダに録音し、周波数分析を行なう FFT アナラザ、マイクロコンピュータにより解析した。直径 76 cm のスピーカによって 16 Hz, 31.5 Hz, 63 Hz, 125 Hz で 60 dB, 80 dB, 100 dB の低周波音を発生させ、小型のオーディオ用スピーカによって、40 dB (A), 60 dB (A), 80 dB (A) の戸障子のガタツキ音を発生させた。被験者として大学生 9 名、低周波音に対する苦情者 12 名について実験を行なった。

#### (1) 低周波音による皮膚電位変化 (GSR)

低周波音を発生させた場合の GSR、呼吸の測定例を図 11 に示す。低周波音もしくはガタつき音を発生させた直後に GSR の反応が現れ、停止した直後にまた GSR の反応が現れる。多くの低周波音被害者は、音の発生および停止直後に反応

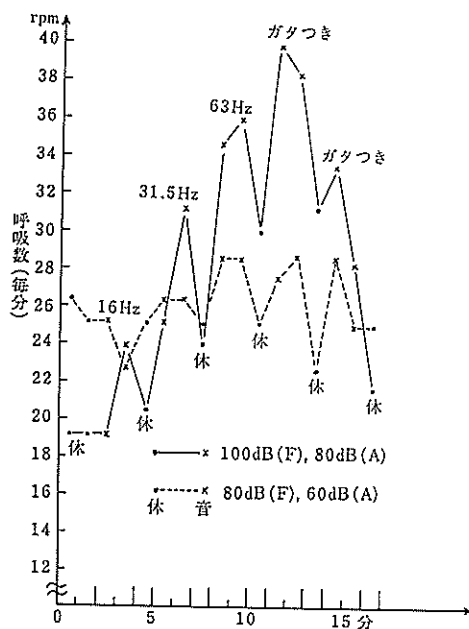


図 13. 低周波音被害者 K 氏 (男) の呼吸数変化

が見れるが、若い大学生の場合には、音の発生停止と関係なく、常時反応が出る人も多い。

GSR の反応は“嘘発見器”としても使われているもので、びっくりした時、ドキッとした時に、掌に汗をかく現象である。低周波音の発生によって、精神的な圧迫が加わり、反応が現れたものである。レベルが高いほどはっきりした反応が現れ、低周波音が検知されない最小可聴値以下のレベルでは、反応が見られない。低周波音もしくは、戸障子のガタつき音が、人間にとってドキッとする精神的な負担となり、掌に汗をかくという生理的影響につながっているのであろう。

#### (2) 低周波音による呼吸数の変化

低周波音を暴露することによって呼吸数はどう変化するのであろうか。大学生 9 名に対して低周波音およびガタつき音を 2 分間暴露した場合には、呼吸数の増加する人もあったが、減少する人もあった。音を停止した直後に、はっきり呼吸の深くなる人はいたが、呼吸数としては、はっきりした傾向は見られなかった。しかし低周波音被害者 12 名の内 6 名は、はっきりと呼吸の増加する人がいた。図 11 に示したものは、被害者の例

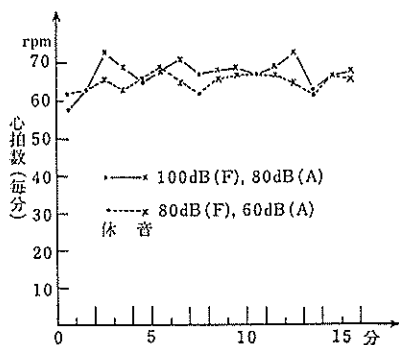


図 14. 低周波音被害者 N 氏 (男) の心拍数変化

であるが、2 段目に示す呼吸波形において、低周波音が発生すると呼吸の間隔が短くなり、早くなっている。図 12 に示すものは、この被験者の呼吸変化である。1 分の休みの間は、毎分 12 回程度であるが、31.5 Hz 100 dB の低周波音に暴露されると、毎分 24 回にも増加している。呼吸数の増加はレベルが大きいくほど激しく、レベルが低い 80 dB (F), 60 dB (A) の音に対しては、呼吸数の増加は少ない。また閾値ぎりぎりの 16 Hz, 80 dB (F) においては呼吸数の増加はほとんど見られない。最小可聴値以下で低周波音が検知されないと、変化はなくなる。図 13 に示す被験者もほぼ同様であり、この 2 名は非常にはっきりと影響の表れた例である。被害を受けている人にとっては、低周波音を感じた時に息苦しくなるためか、呼吸数が増加する人がおり、低周波音が、かなりの負担になっていることを示している。

### (3) 低周波音による心拍数の変化

大学生 9 名に対して低周波音を暴露した場合、心拍数についてほとんど変化は見られなかった。しかし低周波音被害者 12 名の内 4 名は、心拍数が増加した。図 14 および 15 にある被害者の心拍数変化を示す。休みの時に比較して毎分 7-15 回程度心拍数が増加している。80 dB の低周波音による変化は小さく、呼吸数に比較して変化は小さい。心臓の動きである心拍数は、人間の意志では変えることができないものであるが、4 名の被害者は低周波音もしくはガタつき音によって、心拍数が増加している。この 4 名の被害者の場合、低周波音を聞いた時、心臓がドキドキするという

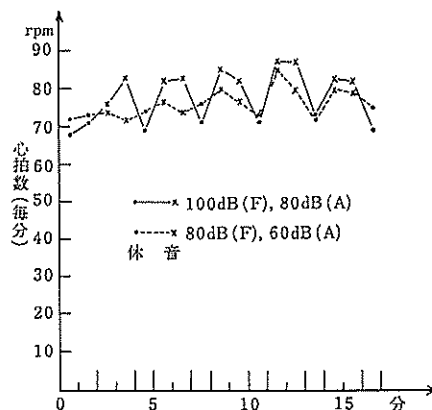


図 15. 低周波音被害者 K 氏 (男) の心拍数変化

条件反射付けが、体の内部ででき上がっている。

このように心拍数が増加する人にとっては、低周波音は大きな生理的影響があるといえる。

### (4) 低周波音による脳波の変化

低周波音を 2 分間暴露し脳波の変化を測定する。2 分間の全データを取り込み FFT アナライザで周波数分析をし、 $\alpha$  波および  $\beta$  波について、レベルを求めた。 $\beta$  波が増加すると覚醒してくることを示すが、学生および被害者において、 $\alpha$  波、 $\beta$  波について変化はあるが、一定の傾向は見られなかった。

### 研究成果のまとめ

低周波音による被害発生のメカニズムを追求し、以下のような結論が得られた。

(1) 超低周波音もしくは、低周波音は、人間の耳に聞こえないとよく言われるが、レベルが高ければ耳によって知覚される。

(2) レベルが非常に高い場合には、胸の振動感によっても低周波音は検知される。しかし一般の公害のレベルでは、このようなことはまれである。

(3) 低周波音の苦情は、最小可聴値を超え、直接低周波音が検知される場合および、直接低周波音は検知されないが、戸障子のガタつきが発生する場合に起こる。

(4) 低周波音は、“うるさい”という感覚よりも“圧迫感、わずらわしい”という感覚を主に引き起こす。



(5) 低周波音被害者の中には、低周波音を聞くことによって、呼吸数、心拍数、皮膚電位変化などの面で生理的影響を受ける人がいる。

#### 謝 辞

本研究によって超低周波音の被害発生のメカニズムを解明することが出来た。本研究を遂行するにあたり、多大なご援助をいただいた日産科学振興財団に深謝する次第である。

#### 研究発表

- 1) S. Yamada: Occurrence and control of low frequency noise emitted from an icecream storehouse, *Journal of low frequency noise and vibration*, 1 (1), 19-21 (1982).
- 2) S. Yamada: Concrete examples of low frequency noise problems, *Inter-Noise 82 in Sanfrancisco*, 601-604 (1982.5).
- 3) 山田伸志: 低周波音の防止対策, *産業公害*, 18 (4), 311-315 (1982.4).
- 4) 藤方進吾, 生路教典, 中島裕志, 福田隆弘, 小坂敏文, 渡辺敏夫, 山田伸志: ろう者及び通常者における低周波音の体感, *騒音制御工学会論文集*, 209-212 (1982.9).
- 5) 山田伸志: 低周波音問題の発生と対策, *昭和 56 年度中小企業技術改善費補助金補助事業技術改善講習会テキスト*, 31-55 (1982.12).
- 6) 一ノ瀬和宏, 神谷治雄, 山田伸志: 低周波音によ

る窓のガタつきと振動特性, *音響学会論文集*, 495-496 (1983.3).

- 7) 山田伸志: 低周波音の感覚と心理的生理的影響, *産業公害*, 19 (4), 294-297 (1983.4).
- 8) 山田伸志: 低周波音をめぐる, *JAS ジャーナル*, 83 年 7 月号, 51-55 (1983.7).
- 9) S. Yamada, M. Ikuji, S. Fujikata: Sensation of low frequency noise of deaf persons, *Inter-Noise 83 in Edinburgh*, 823-826 (1983.7).
- 10) S. Yamada, K. Ichinose, H. Kamiya, T. Watanabe, T. Kosaka: Occurrence and effects of low frequency noise, *Inter-Noise 83 in Edinburgh*, 859-862 (1983.7).
- 11) 渡辺敏夫, 小坂敏文, 山田伸志: 高速道路橋から発生する低周波音(京葉道路谷津地区)について, *騒音制御工学会論文集*, 13-16 (1983.9).
- 12) 山田伸志, 渡辺敏夫, 小坂敏文: 低周波音の感覚受容器, *騒音制御*, 7 (5), 282-284 (1983.10).
- 13) 山田伸志, 渡辺敏夫, 小坂敏文: 新幹線沿線において発生する低周波音, *音響学会論文集*, 437-438 (1984.3).
- 14) 山田伸志, 内山吉兼, 笠田和彦, 渡辺敏夫, 小坂敏文: 低周波音による生理的影響, *音響学会騒音研究会*, 63-68 (1984.5).
- 15) 山田伸志, 渡辺敏夫, 小坂敏文: 高速道路橋から発生する低周波音, *騒音制御*, 8 (3), 142-144 (1984.6).
- 16) 山田伸志: 超低周波音と低周波音, 1-97, *環境技術研究会発行* (1984.7).